

공학석사 학위논문

# UF전처리시스템의 물리 화학적 파라미터 영향

Physical and chemical parameter effects of  
UF pretreatment system

지도교수 정형호

2014년 12월

한국해양대학교 대학원

기 계 공 학 과

임 동 훈

本 論文을 林東勳의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

위 원 장 오 철 (인)

위 원 채 규 정 (인)

위 원 정<sup>45</sup>형 호 (인)

2014년 12월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

Abstract

그림목차

표 목차

제 1 장 서 론 . . . . .	1
1.1 연구배경 . . . . .	1
1.1.1 역삼투 해수담수화 플랜트 . . . . .	2
1.1.2 UF 전처리 시스템 . . . . .	3
1.2 연구목적 . . . . .	4
제 2 장 디스크 필터와 UF 분리막 . . . . .	5
2.1 디스크 필터 . . . . .	5
2.1.1 디스크 필터 여과 공정 . . . . .	6
2.1.2 오염 및 세정 . . . . .	6
2.2 UF 분리막 . . . . .	7
2.2.1 분리막의 분류 . . . . .	8
2.2.2 막여과 공정 . . . . .	8
2.2.3 막의 특성 . . . . .	9
2.2.4 오염 및 세정 . . . . .	10
2.3 취수설비 . . . . .	11
제 3 장 실험장치 및 방법 . . . . .	13
3.1 실험장치 구성 . . . . .	13
3.1.1 취수부 . . . . .	13

3.1.2 전처리 시스템 . . . . .	16
3.2 실험방법 . . . . .	20
3.2.1 전처리 성능실험 . . . . .	20
3.2.2 UF막의 운전 . . . . .	21
3.2.3 Parameter 측정방법 . . . . .	25
제 4 장 실험결과 및 고찰 . . . . .	32
4.1 차압과 투수율 및 저항 . . . . .	32
4.2 탁도와 SDI . . . . .	35
4.3 Parameters . . . . .	36
제 5 장 결 론 . . . . .	37
참 고 문 헌 . . . . .	38





# Physical and chemical parameter effects of UF pretreatment system

Lim, Dong Hoon

Department of Mechanical Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## **Abstract**

In seawater, plankton and suspended solids causes a problem in operating a seawater pretreatment system. Since such substances are filtered as they pass through pretreatment equipment, the importance of pretreatment emerges. This study used disc filters and UF membranes as the pretreatment equipment. As the processes of filtration and washing were repeated, flow and velocity would change as time passed. So it seems that steady experimental conditions not be achieved. This study conducted a fouling analysis using two flow conditions: constant r.p.m and constant flow rate regarding the conditions of flow in the process of filtration. For the fouling analysis, TMP(Trans Membrane Pressure) and permeability were analysed, and turbidity and SDI(Silt Density Index) value were compared. Each specimen was sampled, measured and compared using a measuring instrument.

## 표 목차

Table 3.1 Specifications of UF membrane

Table 3.2 Operating processes of pretreatment system and duration times

Table 3.3 Chemical consumption per day for CEB

Table 3.4 pH-200L analyzer specifications

Table 3.5 Signet 4150 turbidimeter analyzer specifications

Table 3.6 CDC 401 analyzer specifications

Table 3.7 MTC 101 analyzer specifications

Table 3.8 Pocket Colorimeter II analyzer specifications

Table 3.9 YSI-550A analyzer specifications

Table 3.10 TOC-L analyzer specifications

Table 4.1 Physical and chemical parameters



## 그림 목차

- Fig. 2.1 Illustrations of flow passages formed by disc filters and filtration modes
- Fig. 3.1 Schematic diagram of experimental facilities part.1
- Fig. 3.2 Schematic diagram of experimental facilities part.2
- Fig. 3.3 Photo of vacuum tank
- Fig. 3.4 Photo of tray and mesh screen
- Fig. 3.5 Photo of disc filter
- Fig. 3.6 Photo of UF modules
- Fig. 3.7 Photo of turbidity instrument
- Fig. 3.8 Photo of SDI instrument
- Fig. 3.9 Photo of chemical tank
- Fig. 3.10 Filtration process
- Fig. 3.11 Backwashing process
- Fig. 3.12 Flushing process
- Fig. 3.13 CEB process
- Fig. 3.14 CIP process
- Fig. 3.15 Photo of pH instrument
- Fig. 3.16 Photo of conductivity instrument
- Fig. 3.17 Photo of ORP instrument
- Fig. 3.18 Photo of residual chlorine instrument
- Fig. 3.19 Photo of DO instrument
- Fig. 3.20 Photo of TOC instrument
- Fig. 4.1 Trends of UF TMP during the experiments
- Fig. 4.2 Trends of UF permeability during the experiments
- Fig. 4.3 Trends of UF  $R_f$  during the experiments
- Fig. 4.4 Trends of turbidity and SDI

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

전 세계 많은 나라들이 기근뿐만 아니라 물 부족으로 고생을 하고 있다는 것은 잘 알고 있는 사실이다. 물은 생명의 근본이며 인간의 모든 경제, 사회, 문화 활동에 없어서는 안 될 중요한 자원중의 하나이다. 그러나 인구의 증가 및 급속한 산업화로 인해 물이 부족해지면서 전 세계적으로 물 부족 사태는 매년 심각해지고 있으며 전 세계 인구 중 40%가 식수난과 용수난을 겪고 있는 실정이다.

이러한 수자원 고갈 현상은 세계 곳곳에서 시작 된지 오래이다. 지구 온난화, 지하수 및 지표수의 오염 등의 환경파괴로 인한 기후변화는 아프리카 지역의 우림지대가 사막으로 변하게 만들었다. 중동지역에서는 인구 증가와 급격한 산업발전으로 많은 자금을 들여 해수 담수화 시설을 상용화하고 있고, 중국 또한 대륙에 흐르는 강들이 고갈되면서 농업용수뿐만 아니라 생활용수까지 부족한 상황에 이르고 있다.

지구상에 약 13억8600만  $\text{km}^3$  정도의 물이 존재하고, 이중 바닷물이 97.4% 정도로 대부분을 차지하며, 나머지 2.6%(약 3천600만  $\text{km}^3$ )이 담수로 존재한다. 게다가 담수의 대부분은 빙산, 빙하의 형태로 존재하여 이용이 불가능한 형편이다. 우리가 사용할 수 있는 물은 지하수가 약 1천만  $\text{km}^3$ , 호수나 늪, 하천 등이 약 100만  $\text{km}^3$ 에 불과하다. 이에 현재 가장 발전가능성이 높고, 시장이 보편화 되어있는 해수담수화 연구가 세계적으로 각광 받고 있다.

해수담수화란 생활용수나 공업용수로 직접 사용하기 힘든 바닷물로부터 염분을 포함한 용해물질을 제거하여 순도 높은 음용수 및 생활용수, 공업용수 등을 얻어내는 일련의 수처리 과정을 말한다. 해수담수화의 대표적인 방식은 열원을 이용하여 해수를 가열하고 발생한 증기를 응축시켜 담수를 얻는 증발법과 삼투현상을 역으로 이용하여 해수를 반투막을 통과시켜 담수를 생산하는 역삼

투법이 있다. 이중 증발법은 에너지가 값싼 중동지역에 주로 사용되며<sup>[1]</sup>, 그 외 지역에서는 주로 역삼투법이 담수 생산 가격이 싸고 설치 및 운전이 용이하다는 장점이 있어 역삼투 해수 담수화 방법이 주로 사용된다.

### 1.1.1 역삼투 해수담수화 플랜트

역삼투 해수담수 플랜트 설비는 크게 취수취수부, 전처리, 역삼투 설비, 후처리 등의 4가지 공정으로 구성된다. 취수부는 취수펌프와 해양 생물의 침입을 막기 위한 스크린으로 구성되어 있다. 대부분 취수 이후에 바로 염소 소독을 실시하여 취수 직후 배관 내에 달라붙은 해양 생물을 처리하는 목적으로 사용된다. 역삼투막은 미세한 이온까지 분리할 수 있는 세공크기를 가지므로 분리 공정 중 막근방에서의 축적에 의한 오염이나 장치 내에서 박테리아 등의 성장 억제에 위해 큰 입자를 제거하여 역삼투 모듈에 공급해야 한다. 전 공정에서 모듈이 입자들을 제거하는데 이를 통칭하여 전처리라 하며, 역삼투막의 오염을 방지하기 위해서 원수의 전처리와 성능이 저하된 막의 물리 화학적 세정 두 가지 분야로 검토되어야 한다. 전처리에는 탁도 및 부유물질 제거, 무기물 형성으로 인한 유량 감소, 살균 및 슬라임 형성 방지, 오일 및 기타 유기물 제거, 경도제거 등이 있다. 멤브레인의 내구성을 확보하기 위해서 탁도 0.5이하, SDI(Silt Density Index) 4.0이하의 수질이 요구된다.<sup>[2]</sup> 역삼투 공정에서 먼저 역삼투는 유체의 평행 상태에서 고농도 용액 측에 삼투압 이상의 압력을 가하게 되면 삼투현상과는 반대로 고농도의 용액에서 순수한 물이 저농도 용액 측으로 흘러 들어가는 현상을 말한다. 약 35,000 ppm의 해수에서 염을 분리하기 위해 고압펌프로 약 60 bar의 압력으로 가압하여 막 모듈에 밀어주는 역할을 하며 고압을 사용하기 때문에 많은 전력을 사용하게 된다. 이를 보완하고자 에너지 회수장치를 사용하는데 버려지는 농축수의 압력은 가압된 채로 유지하고 있어서 이 압력에너지를 회수하여 고압펌프로 전달하는 역할을 하며 전기를 생산하기도 한다. 멤브레인은 수온, 온도, 압력, 농도 등에 의해 성능과 수명에

큰 영향을 미친다. 후처리 공정은 RO설비를 통해 생산된 생산수는 특성상 음용수나 특수 목적을 위한 용도에는 부적합하여 후처리 공정을 통해  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  등의 이온을 용해하고 pH조절하여 생산수의 목적에 맞게 개질하는 마지막 공정이다.

### 1.1.2 UF 전처리 시스템

UF(Ultrafiltration)는 정밀여과막과 역삼투막 사이에 위치하며 반투막을 이용하여 용액내의 물질의 크기에 따라 분리하는 방법으로 분자 크기가  $0.005 \sim 0.5 \mu\text{m}$  정도의 범위를 처리할 수 있다. 막은 일반적으로 이방성구조(Asymmetric structure)로 되어 있는데 선택분리기능을 가진 표면활성층(Active skin layer)과 이를 지지하는 다공성 지지층(Sponge 층)으로 구성되어 있다. 선별능력을 가지는 표면활성층의 기공 크기는 콜로이드 물질의 분별이 가능할 정도로 크기가 작고 미세하므로 분리 능력을  $\mu\text{m}$ 으로 표시하지 않고 분획분자량(MWCO: Molecular Weight of Cut-Off), 즉 걸러낼수있는 분자량의 크기로 나타내고 있다. 표면활성층의 두께는  $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$  이고  $20 \sim 200 \text{ \AA}$  정도의 미세공을 가지고 있어 최소의 에너지로 수용액을 가압 여과하는 것에 의해 물 및 저분자물질과 단백질, 효소 등 고분자 물질이나 콜로이드 물질을 분리할 수 있다.<sup>[3]</sup>

Dawn F. Halpern<sup>[4]</sup>은 RO 전처리로서 UF 멤브레인의 실용성을 결정하기 위한 실험을 하였다. 실험결과 RO성능에 약간의 차압 증가를 보였으며, 오랜 기간동안 일관적으로 안정된 RO 공급수를 제공할수 있다고 하였다.

A. Brehant<sup>[5]</sup>은 재래식 방법의 DMF(Dual Media Filter)방식과 UF막을 사용한 방식 두 가지 전처리 성능을 비교하였다. 실험결과 DMF방식은 SDI를 2.5이하로 감소시키지 못했지만 UF막을 사용하였을 경우 SDI를 1이하로 감소시킬수 있었으며, UF 전처리 시스템이 더 안정적이며 높은 품질의 RO공급수를 제공할수 있다고 하였다.

## 1.2 연구목적

본 연구에서는 200  $\mu\text{m}$  디스크 필터와 UF막을 역삼투 해수담수화 플랜트의 전처리 설비로 구성하여 연속운전을 수행하였다. 대부분의 공정에 사용되는 막은 고분자 소재의 평막이나 중공사막 형태가 가장 많이 사용되고 있으며 이외에 세라믹 관형막, 무기막, 이온교환막들이 하수의 성상이나 처리용량에 따라 다르게 적용되고 있다. 이와는 다르게 디스크 형태의 분리막도 사용되고 있으나 가장 많이 쓰이는 중공사형, 나권형막 등에 비해 막의 유효면적은 훨씬 적으면서 차지하는 부피가 크고 비용이 비싸 상대적으로 공정적용이 미미하였다.<sup>[6]</sup> 또한 유동상태오염물질이 분리막 표면에 부착하면 여과과정에서의 유량은 감소하고 분리막의 차압은 증가한다. 세정효과를 규명하기 위해 여과와 세정과정을 반복하게 되면 시간에 따라 유량과 유속이 변하기 때문에 일정한 실험조건이 이루어지지 않는 것 같다. 그래서 여과과정에서 유동의 조건을 일정 회전수조건(Constant r.p.m)과 일정유량조건(Constant flow rate) 두 가지 유동 조건을 통해 어떠한 유동 조건이 오염해석에 합리적인지 판단하려 한다. 일정회전수조건은 가변회전수로 구동(VFD: Variable Frequency Drive)되는 입형 다단펌프의 모터로 되어 있으며, 주파수(Hz)를 일정하게 유지하여 펌프를 운전하는 방식으로 PLC(Programmable Logic Control)에서 주파수를 입력하여 펌프를 구동시킨다. 일정유량조건은 PLC에서 일정한 유량 값을 설정해 주게 되면 펌프의 주파수가 변화하며 설정된 유량에 맞춰서 펌프가 구동되는 형식을 말한다. 일정한 실험조건을 하면서 UF막의 투수율, 차압, 저항 값을 통하여 막의 성능을 평가 하였으며, 원수와 디스크 필터 생산수, UF생산수의 시료를 채취하여 물리적, 화학적 파라미터가 어떠한 영향을 미치는지 평가하였다. 탁도와 SDI를 측정하여 역삼투막 공급수의 적합성을 판단하고자 하였다.



## 제 2 장 디스크 필터와 UF 분리막

### 2.1 디스크 필터

해수에 있는 부유물질을 제거하는 설비로는 샌드필터, 미디어필터, 스크린 필터와 디스크 필터 등 필터 등이 있다. 이러한 설비에서 오염물질을 제거하는 방법에는 유체의 흐름(코어유동)에 교란을 주거나 표면에서의 전단응력으로 오염물질을 제거하게 된다. 이와는 달리 화학적/정전기적인 방법으로 오염물질이 부착되고 오염물질을 제거하는 비가역적인 방법에 비해, 물리적으로 제거하는 방법은 가역적이며 최소의 시간과 비용으로 설비의 성능을 유지할 수 있어 유리하다.

이중 디스크필터는 Fig.2.1에 나타난 것처럼 아주 얇은 동심원의 디스크가 층층이 쌓여진 구조로 되어 있다. 표면여과(Surface filtration)와 뎀스여과(Depth filtration)을 같이 하고, 주로 원수의 오염원 중 입자형태의 부유물질(Suspended particle)을 제거하며, 수십  $\mu\text{m}$ 에서 수백  $\mu\text{m}$ 의 입자를 걸러낸다.

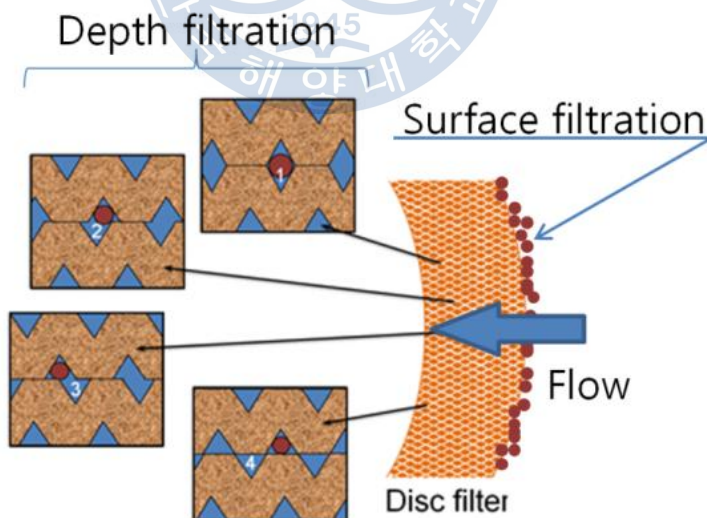


Fig. 2.1 Illustrations of flow passages formed by disc filters and filtration modes



### 2.1.1 디스크 필터 여과 공정

디스크 필터로 오염된 해수가 필터 하우스 입구 방향으로 들어간다. 해수의 흐름은 빠른 유속을 유지하며 디스크필터를 통해서 정수가 된다. 해수를 통과시키면 디스크 필터 엘리먼트 표면과 또한 디스크필터 내부에 형성된 유로표면에서 유로 크기보다 큰 오염물질이 각각 부착된다. 디스크 필터에서 유로 크기보다 큰 오염물질은 제거된 해수는 다음 단계에 있는 설비에 사용된다. 이런 과정을 여과라 한다.

### 2.1.2 오염 및 세정

디스크 필터를 장시간 운전하면, 디스크 미디어의 표면과 내부에서는 오염물질이 흡착하게 된다. 오염물질이 유로를 막으면, 차압이 증가하고 유량이 줄어든다. 이러한 경우 디스크 미디어에 있는 오염물질을 제거해야 한다. 디스크 필터가 걸러내는 오염원은 비교적 크기가 큰 입자들이므로 역세 또는 플러싱을 이용하여 기계적으로 오염물질을 제거한다.

디스크 필터의 역세는 디스크 표면에 이물질이 많이 쌓이게 되면, 차압과 미리 설정된 시간에 의해 역세가 시작된다. 역세공정은 각 필터들이 순차적으로 역세를 실시하도록 한다. 1개의 필터가 역세될시 나머지 필터들의 여과된 물중 일부가 출수구를 통해서 필터내부로 역공급되어 각 필터들을 들어올린다. 이때 역세수는 빠르게 회전하면서 디스크에 포집된 이물질을 빠르고 효과적으로 드레인으로 배출한다. 역세가 끝나면 디스크층은 다시 압착이 되며 정상상태의 여과상태로 돌아간다.

## 2.2 UF 분리막

분리막 제조 및 공정기술은 고순도, 고기능성 물질의 제조와 지구 환경 보호 등의 사회적 요구에 따라서 간단한 실험실적 규모로부터 산업분야의 대규모 공정에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다. 막분리 공정은 기화 및 응축을 반복하는 증류 공정과는 달리 상변화를 필요로 하지 않는 물리 기계적인 분리 조작이므로 기존의 에너지 다소비형인 공정과 비교하여 약 70 ~ 80% 또는 그 이상까지도 에너지를 절약할 수 있다. 또한 분리 원리 및 공정이 비교적 간단하므로 장치의 구성이나 설치가 간단하고 차지하는 공간 역시 작아서 시설비 투자를 줄일 수 있는 장점이 있다.

UF를 이용한 분리 시스템은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- (1) 상변화를 수반하지 않은 공정으로서 열에너지를 필요로 하지 않으므로 에너지절약효과가 있으며 분리대상의 물질도 일어나지 않는다.
- (2) 표면활성층의 미세구조에 의해 분자량 크기별로 분별하는 것이 가능하여 특정물질만의 분리가 용이하다.
- (3) 열에너지를 사용하여 분리할 경우 필수적인 콘덴서나 증발장치가 필요없어 설비가 간단하고 자동화에 의해 운전이 용이하다.

UF 공정에서 투과속도를 지배하는 인자는 막의 저항, 막면에 생성된 농도분극층 또는 gel층의 저항이다. 이러한 투과속도를 증진시키기 위해서는 난류(Turbulence)를 크게하거나 인위적으로 gel층을 깎아내는 방법이다. 분리막(Membrane)은 2 또는 다 성분 혼합물로부터 선택적으로 특정성분(1 또는 다 성분)을 분리할 수 있는 물리적 경계층(Barrier)으로 정의할 수 있다. 따라서 분리막을 투과하거나 분리막으로 배제된 상(Phase)중 특정성분의 농도는 증가 또는 감소할 수밖에 없다. 이와 같은 분리는 단순히 입자의 크기 차이에 의하여 이루어질 수도 있지만, 농도 차에 의한 분자간 확산율, 전하 반발력, 분리막 재질에 대한 특정성분의 용해도 차이 등에 따라서 분리 특성이 복합적으로 결정되기도 한다.

### 2.2.1 분리막의 분류

막은 세공막(Macroporous membrane), 미세공막(Microporous membrane), 비공성막(Non-porous membrane)로 분류할 수 있다. 세공막은 구멍의 지름이 0.1~10  $\mu\text{m}$  정도이고 분자크기가 매우 큰 거대분자나 콜로이드, 미세입자등을 분리하는데 이용되는 막이다. 이 막의 특성은 이온이나 물 같은 용매를 쉽게 통과할 수 있다. 미세공막은 구멍의 지름이 50 ~ 500 Å 정도인 미세공이 있어 주로 유기혼합물이나 쿤센(Knudsen)흐름에 의한 기체분리에 사용된다. 비공성막은 미세공이 존재하지 않는 막을 말하며 무기성 결정간의 간격이 존재하여 이 간격이 10 Å 정도 되는 막을 말한다. 따라서 비공성막은 미세구멍을 통해 물질이 투과되는 것이 아니라 분자 사이에 난 간격을 통해 물질이 투과 된다. 역삼투막, 기체분자 등이 용해되어 확산되는 고분자막, 금속막이 이 부류에 속한다.

### 2.2.2 막여과 공정

막여과 공정은 선택적 투과성을 갖는 분리막을 선택, 이용하여 물리적으로 액상-액상, 고상-액상 및 고상-기상의 혼합물로부터 분리, 농축, 정제하여 제거하는 공정을 말한다. 또한, 막여과 공정은 막소재의 물리·화학적 특성, 미세구조의 크기, 화학적 친화성, 이온성 등의 차이에 따라 유체의 상(Phase)변화를 수반하지 않고 분리할 수 있는 효율적인 공정인 것이다. 막여과 공정은 사용하는 막의 종류에 따라 제거할 수 있는 오염물질의 크기나 성상의 구분이 명확하다. 막분리 공정에서 이러한 분리를 가능하게 하는 구동력(Driving force)은 막 양면에서의 농도차, 압력차 또는 전위차 등에 의한 것이다.

막여과 공정은 제거되는 입자의 크기별로 역삼투법(RO: Reverse Osmosis), 저압역삼투법 또는 나노여과법(NF: Nanofiltration), 한외여과법(UF: Ultrafiltration), 정밀여과법(MF: Microfiltration) 및 전기투석법(ED: Electrodialysis) 등으로 분류할 수 있다. 이들 중 UF, NF, RO막 등은 원수 중

의 용해성 물질이 막표면 근처의 경계층에서 농축되는 농도분극현상을 일으키므로 용해성 물질의 농도가 막의 유속과 제거성능을 좌우한다. 막분리 공정의 특징은 안전성이 우수하고 설치면적이 적으며, 원수의 수질조건에 구애받지 않고 막의 분리 공경보다 큰 물질의 확실한 제거와 자동운전이 가능하다는 것이다. 무엇보다도 탁질이나 콜로이드성 입자의 제거는 물론 미량 유기화합물질 등의 수질기준 강화에 대비할 수 있다는 장점이 있다.

그 밖에도 분리막은 형태에 따라 평막(Plate type), 실 형태로 중앙이 빈 중공사막(Hollow-fiber type) 및 관 형태의 관상막(Tubular type)으로 분류된다. 막여과 설치방식에 따라서는 막을 케이스에 넣은 케이싱 수납형막과 막을 직접 수중에 침적시킨 침적형 막이 있다. 또한, 막여과 운전방식에 의해서는 공급수 전량을 여과하는 전량여과방식(Dead-end flow)과 막면에 대하여 평형으로 물의 흐름을 만들어 입자들이 막의 표면에 퇴적하는 것을 억제하면서 여과하는 십자류 여과(Cross-flow)가 있다.

### 2.2.3 막의 특성

#### (1) 투과 플럭스(Flux)

투과 플럭스는 온도, 운전 압력 등의 복합적인 원인에 의하여 증가하며 플럭스 증가에 따라 막오염이 가속화됨으로 적정 압에 의한 운전이 필요하며, 초기 막오염이 막 수명에 크게 영향을 줌으로 운전 압력을 서서히 증가시키는 것이 중요하다.

#### (2) 저항

저항 값은 막의 오염도를 나타내며, 투과 플럭스와 차압 그리고 해수 점성계수를 이용하여 계산한다. 막은 이동하는 유체에 집중된 저항을 가하며 이 저항은 물질에 선택적으로 다르게 작용하므로 이동속도의 차이에 따라 두 상의 분리가 일어나게 한다.

### (3) 농도분극

한외여과나 역삼투 등에서, 여과의 진행에 따라 막 표면상에 막에 의해 저지된 용질이 농축되어 막 공급수 중의 농도보다도 높게 되는 현상을 말한다. 농도분극은 분리, 분획성능이나 막 여과 유속에 큰 영향을 미친다. 막 표면상의 용질농도는 막-막 공급수 계면경막 중에서 물질이동에 지배되기 때문에, 이 경막 중에서의 물질 이동계수를 정확하게 추정하는 것이 극히 중요하다. 농도분극이 생기기 때문에, 용질의 저지율에는 막 공급수 중의 농도를 기준으로 한 겔보기 저지율과 막면상의 농도를 기준으로 한 실제의 저지율 2종류의 표시가 있다. 통상은 겔보기의 저지율이 이용되지만, 막 공급 수량이나 압력에 의해 그 값이 다르기 때문에 주의할 필요가 있다. 정밀 여과법에서는 분리대상이 입자이기 때문에 이러한 농도분극은 통상 인정되지 않는다.

### (4) 온도

온도가 막 오염에 미치는 영향은 불분명 하나, 용질이 용해도나 흡착에 영향을 줌으로서 직 간접적인 영향은 주며 온도가 올라가면 점성계수가 작아져 여과저항은 작아지고 투과 플럭스는 증가한다.

## 2.2.4 오염 및 세정

오염은 막 공급수 중의 용질이 막에 의해 저지됨에 따라 막의 막힘이나 부착층의 형성을 초래하는 현상을 말한다. 오염에 따른 막의 여과기능은 저하한다. 오염의 원인물질로서는 탁질, 스케일, 실리카, 금속산화물, 유기물, 미생물 등이 있다. 원수의 수질이 악화 되는 것 또한 오염의 원인중 하나가 될수 있으며, 농도분극현상에 의해 오염물질이 석출되기도 한다.

이러한 막의 오염을 막기 위해서는 막을 세정하여 성능을 회복하는 방법이 있으며 막세정 방법에는 크게 물리적인 방법과 화학적인 방법이 있다.

- 물리적 방법

(1) 수세(Flushing) : 생산된 담수를 저압, 고 유속으로 막면에 흘려주는 방법으로 일시적인 세정방법이다. 유기산을 이용하여 Flushing하면 칼슘 및 마그네슘의 스케일을 제거할 수 있다.

(2) 공기주입법 : 생산된 담수와 함께 공기를 넣어 오염 물질을 제거하며 유기 물질에 의한 오염을 제거할 수 있다.

- 화학적 방법

(1) 구연산세정 : 1 ~ 2% 구연산수용액을 저압에서 순환식으로 세정

(2) 구연산+암모늄세정 : 구연산용액에 암모늄수를 첨가하여 여러가지 pH로 조절된 세정액으로 세정하는 방법

(3) 인산세정 : 인산 0.1 ~ 0.2% 수용액으로 세정

(4) 알카리세정 : NaOH 0.1% + Sodium lauryl sulfate 0.5% 용액으로 유기 오염물 제거

(5) Sodium hydrosulfite( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 2 ~ 4% 용액으로 철분제거

(6) Sodium EDTA 2% 용액으로 Sulfate Scale과 중금속제거

(7) Ammonium bifluoride( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ) 2 ~ 5% + HCl로 실리카 제거

(8) 수성유액세정 : 기름과 산화질의 오염 물질 제거를 위해 1.5%의 무취 Thinner와 0.45wt%의 계면활성제 Cyanamid-OT-B 수용액사용

(9) 효소세정 : 유기물의 오염 제거

## 2.3 취수 설비

전처리의 부하를 최소화하고, 역삼투 해수담수 플랜트의 안정적인 운전을 위해서는 깨끗하고 안정된 수질의 해수를 취수하여야 한다. 취수방식에는 표층 해수를 직접 취수하는 방식과 심층 해수를 취수하는 2가지 방식이 있다. 일반적으로 깨끗한 해수를 얻을 수 있는 심층 취수 방식은 대규모 플랜트에서 가능하다. 중-소규모 플랜트에서는 해안 구조물, 해안 지하관정을 개발하여 취수를

하고 있다. 지하 관정을 개발 할 경우, 표층 해수보다 부유 물질의 농도가 낮은 원수를 취수 할 수 있기 때문에, 전처리 시설의 부하를 줄일 수 있고, 염분의 농도도 일부 감소되므로 고압펌프의 동력비를 줄일 수 있는 장점이 있다.

표층 해수를 취수하는 대규모 플랜트에서는 유입물 및 부착물의 방지를 위해 해수 취수구를 상방향으로 하거나 염소를 주입하기도 한다. 그러나 염소 주입에 의한 취수 배관의 생물 부착 방지는 염소 주입관의 부식이나 파손에 의한 염소 누출로 인해 해양 생물에 나쁜 영향을 미칠 수 있기 때문에 바람직하지 않다. 일반적으로 깨끗한 해수를 취수 할 경우에는 배관 내부의 생물 부착 영향을 고려하여 관경이 큰 취수 배관을 사용하고 있다.





## 제 3 장 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치 구성

실험장치는 취수부와 전처리 시스템으로 구성되어 있으며, Fig. 3.1에는 취수부에서 디스크 필터까지를 Part.1으로 나타내었고 Fig. 3.2에는 UF 모듈부터 UF 생산수 탱크 까지를 Part.2로 나타냈다. 취수부는 수중펌프와 펌프가 설치되어 있는 진공탱크로 구성되고 전처리 시스템은 취수된 원수를 저장하는 5 m<sup>3</sup> 크기의 취수탱크, 화학세정 설비, 200  $\mu$ m 디스크 필터, 모듈당 면적이 75 m<sup>2</sup> 인 UF모듈 6개와 5 m<sup>3</sup> UF 생산수 탱크로 구성된다.

#### 3.1.1 취수부

실험실 바닥과 평균해수면은 평균 약 3 m의 차이가 있어 취수펌프의 공동현상이 일어날 수 있다. 공동현상을 방지하기 위하여 Fig. 3.3와 같이, 취수펌프는 지하 2 m 되는 곳에 진공탱크를 두어 그 내부에 설치하였다. 취수펌프가 운전되면 펌프가 있는 진공탱크는 진공상태가 유지되며, 진공의 힘으로 해수를 진공탱크로 자동 유입시키는 사이펀의 원리를 이용하였다. 진공탱크의 입구와 출구에 진공계와 압력계를 설치하여 취수펌프의 이상 유무를 파악하였다. 4" 플렉서블 튜브를 우수배수관을 통해 파일릿 플랜트로 연결하였고 취수입구에서부터 실험실 취수탱크까지의 거리는 약 70 m이다.

수중펌프를 보호하고, 펌프 내부로의 수중 부유물의 유입을 막기 위하여 Fig. 3.4과 같이 취수입구에 원형스크린을 설치하였다. 원형스크린 상부에 700  $\mu$ m 크기의 메시를 설치하여 사용하였으며 메시의 막힘 정도에 따라 주기적으로 청소 하였으며 심하게 오염 되었을 경우에는 교체 하였다.



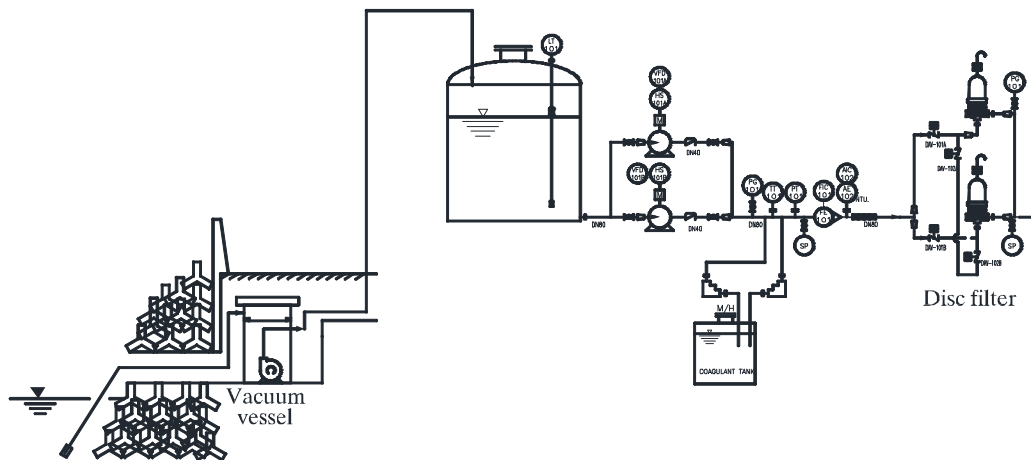


Fig. 3.1 Schematic diagram of experimental facilities part.1

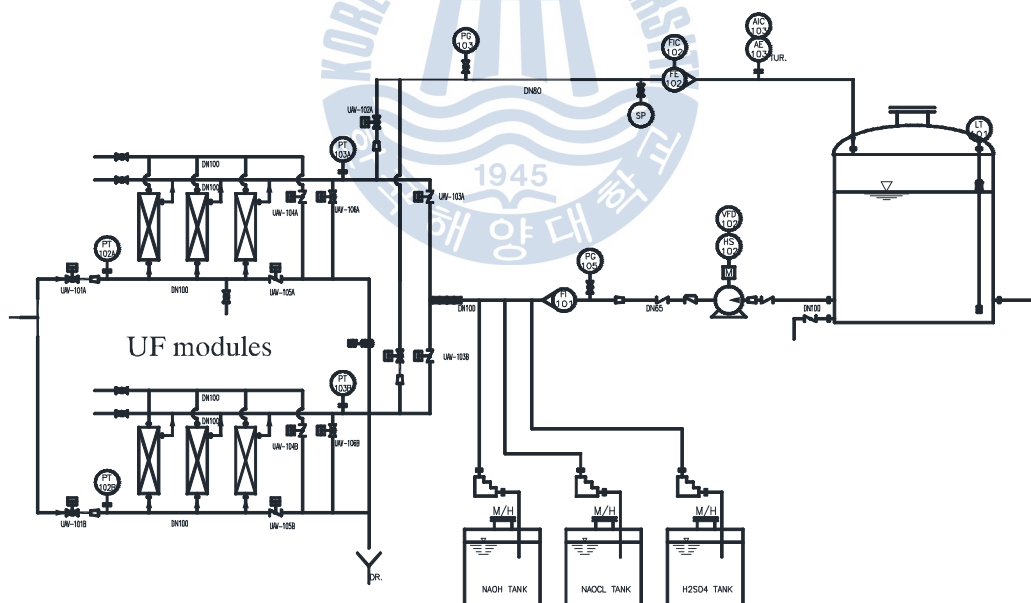


Fig. 3.2 Schematic diagram of experimental facilities part.2



Fig. 3.3 Photo of vacuum tank



Fig. 3.4 Photo of tray and mesh screen

### 3.1.2 전처리 시스템

전처리 시스템은 5 m<sup>3</sup> 크기의 원수탱크, 200 μm 디스크 필터와 UF 모듈, PLC 제어 판넬, 탁도계, CEB(Chemically Enhanced Backwash)설비, UF 생산수 탱크로 구성 되어있다. 디스크 필터 전단의 배관에 염화제2철( $\text{FeCl}_3$ )을 지속적으로 주입하였으며, 그 속도는 모듈 제공업체가 추천한 0.07 l/h(하루 2 l/d)가 되도록 하였다.

#### (1)디스크 필터

디스크 필터는 AZUD Co.,LTD. 사의 201AA 모델로 Fig. 3.5에 나타냈다. 디스크 필터는 200 μm 디스크가 들어있는 용기 2개가 있으며, 디스크 표면에 이물질이 많이 쌓이게 되면, 차압과 미리 설정된 시간에 의해 자동으로 역세가 되며 이는 PLC에서 설정을 해준다.



Fig. 3.5 Photo of disc filter

## (2) UF 모듈

실험의 사용된 UF막은 MEMBRANA 사의 Liqui-Flux® W10 제품 이며 막의 사양을 Table 3.1에 나타내고, 사용된 모듈사진을 Fig. 3.6에 나타냈다. 실험에는 총 6개의 UF모듈이 사용하였다.

Table 3.1 Specifications of UF membrane

Model type	Liqui-Flux® W10 with 75m <sup>2</sup>
Recovery	91.7%
Max. Range of turbidity(feed)	< 3 FNU
Max. TSS in feed	< 5 ppm
Max. TOC in feed	2 ppm
Max. BOD in feed	unknown
Max. Oil	<=1 ppm
Temperature	10 ~ 22°C
Turbidity in filtrate	<=0.1 NTU



Fig. 3.6 Photo of UF modules



### (3) 탁도계

원수의 탁도는 HF scientific Ltd.사의 HF Micro TOL을 이용하여 측정하였으며 디스크 필터 생산수와 UF 생산수는 GF Piping System사의 Signet 4150 Turbidimeter을 이용하여 측정하였고 Fig. 3.7 에 나타내었다. 실시간으로 탁도를 측정하여 PLC로 데이터를 전송하는 방식으로 여과 공정 이외에 역세 및 CEB 공정시 시료의 공급이 중단 되지 않도록 각각 수조를 설치하여 측정하였다.



Fig. 3.7 Photo of turbidity instrument

### (4) SDI 측정

SDI는 GE Infrastructure Water & Technologies Ltd.사의 OSMONIC AUTO SDI 제품을 사용하여 측정하였다. 시료를 공급해주기 위해 소형 펌프를 이용하였으며, 원수와 디스크 필터 생산수는 SDI<sub>5</sub>를 UF 생산수는 SDI<sub>15</sub>를 측정하였다. 시료 채취는 각각의 샘플링 포트를 통해 채취하였으며 Fig. 3.8에 나타내었다.



Fig. 3.8 Photo of SDI instrument

#### (5) 화학약품 탱크

화학약품 탱크는 위해 50L 크기의 약품탱크 4개가 있다. 약품탱크 하나에 한 가지 약품이 들어가며, 화학약품의 종류에는 염화제2철, NaOH, NaOCl,  $H_2SO_4$  4 가지 약품이 들어간다. 이중 염화제2철은 디스크 필터 전단에 주입 하였으며, 나머지 3가지의 약품은 역세배관에 두어 하루 2번 CEB 할 때만 주입되도록 하였으며 Fig. 3.9에 나타내었다.



Fig. 3.9 Photo of chemical tank

## 3.2 실험방법

### 3.2.1 전처리 성능실험

본 실험은 일정 회전수조건 실험 3일과 일정유량조건 3일 실험을 하였다. 먼저 펌프의 회전수를 맞추어 일정 회전수조건 실험 3일을 한뒤, 같은 공정에서 일정 유량조건으로만 변경하여 3일간 실험을 하였다. UF시스템의 운전공정은 Table 3.2에 나타나있다. 시스템의 모듈은 3개씩 나뉘어서 편의상 A, B로 표시가 되어 있으며, 디스크 필터 공정과 CEB 공정 또한 UF 시스템 운전 공정에 포함이 되어 있다. 디스크 필터는 각각 0.5 bar 이상의 차압에서 역세 되도록 하였다. CEB1은 Alkaline 약품이고 CEB2는 Acid 약품이며 약품 주입 농도는 Table 3.3에 나타내었다. TDS, 유량, 압력, 온도, 탁도 및 전력량은 10초마다 측정하였고, SDI는 하루에 3번 시료를 채취하여 측정하였다.

Table 3.2 Operating processes of pretreatment system and duration times

Processes		Time
DF filtration		40 min
DF back washing		50 sec
UF filtration		40 min
UF back washing		90 sec
UF flushing		50 sec
CEB waiting		720 min
CEB1 circulation		110 sec
CEB1 soaking		600 sec
CEB1 flushing		110 sec
CEB2 circulation		110 sec
CEB2 soaking		300 sec
CEB2 flushing	Up	110 sec
	Down	110 sec

Table 3.3 Chemical consumption per day for CEB

Chemical	Concentration (%)	Dosage (l/d)
NaOCl	13	0.59
NaOH	50	1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	38	1.2

### 3.2.2 UF막의 운전

실험에서 사용된 막은 내압식(Inside-out)의 중공사 막으로 여과, 역세, 수세, 화학세정의 공정으로 나눌 수 있다. UF 전처리 시스템 운영은 여과-역세-수세의 순서로 운전 되다가 일정시간이 지난후 화학세정(CEB)을 하여 연속 운전이 되도록 되어있다. 각 공정의 운전 시간은 운전자가 조절을 할 수 있으며, 해수의 탁도가 매우 혼탁할 경우 차압의 급격한 증가 및 생산수량의 감소를 초래할 수 있으므로, 운전자는 수시로 해수 상태를 점검 하는 것 또한 필요하다.

#### (1) 여과

유입된 원수를 일정 미만의 탁도를 가진 처리수를 만들어주는 공정을 말한다. 막의 효율이 좋을수록 더 좋은 처리수를 만들어 줄 수 있으며, Fig. 3.10에 여과 공정의 흐름을 나타냈다.

#### (2) 역세

일정 시간의 여과 공정 이후 막과 모듈 내에 쌓여있는 오염물들을 물리적인 세척을 통해 모듈 밖으로 버리는 공정이다. 여과된 처리수를 이용하여 모듈내의 오염물을 씻어내는 공정으로 여과 공정과 반대로 흐르기 때문에 역세 공정이라 표하며, 이 공정을 Fig. 3.11에 나타내었다.



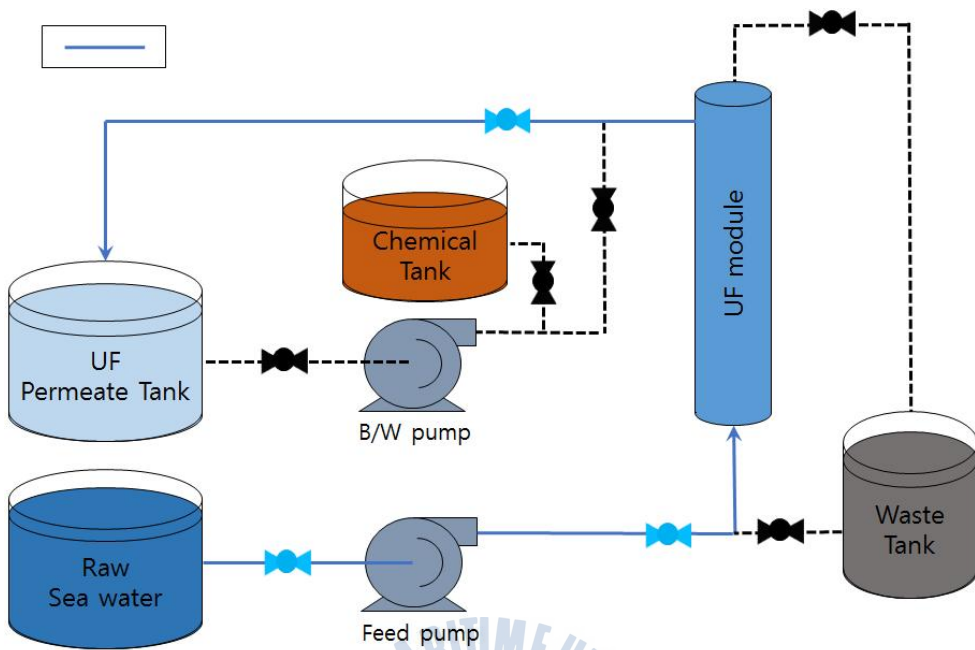


Fig. 3.10 Filtration process

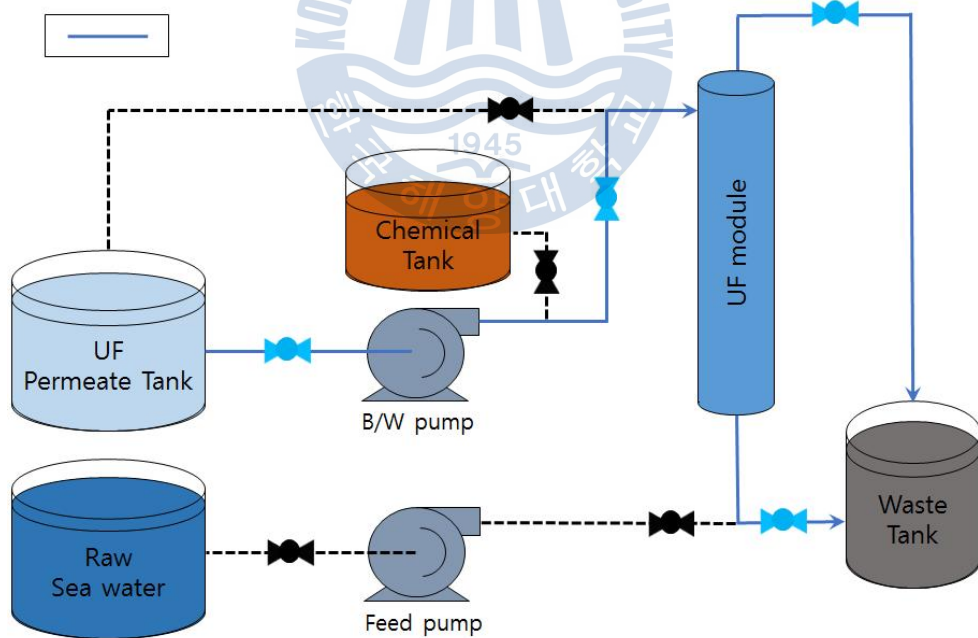


Fig. 3.11 Backwashing process

### (3) 수세

수세공정은 역세 공정 다음에 하는 공정으로 역세공정과 다르게 원수로 세척을하며, 이를 Fig. 3.12 에 나타내었다.

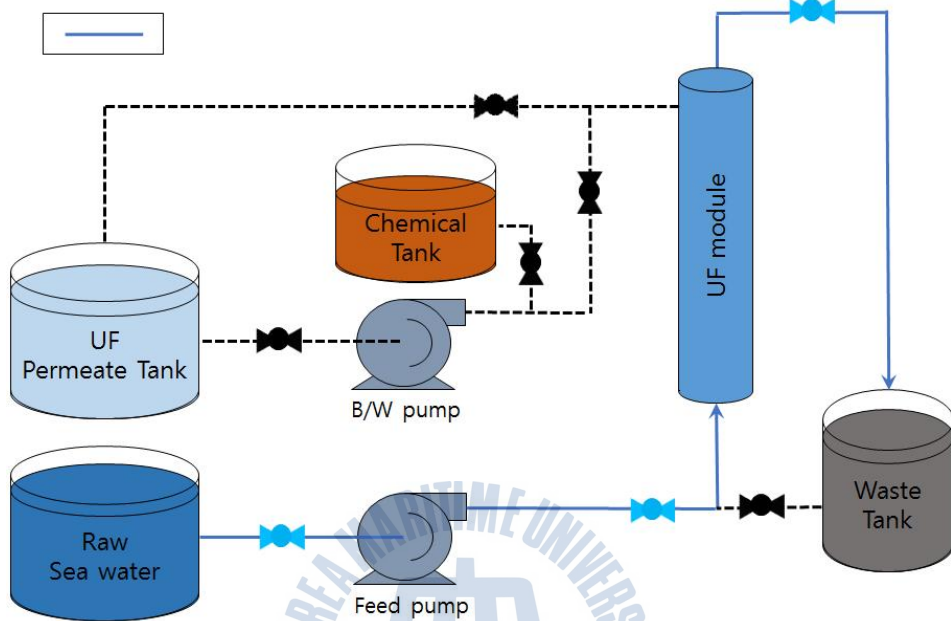


Fig. 3.12 Flushing process

### (4) 화학세정

분리막의 표면에 부착된 높은 밀도의 겔층을 제거하기 위하여 여러 세정방법이 사용되고 있다. 가장 쉬운 방법으로는 세정액을 1~2시간 동안 막 모듈로 순환시키는 방법이다. UF에서 가장 일반적인 오염층은 유기콜로이드, 젤라틴 형태의 물질이며, 이들은 알칼리 온수 세정액으로 잘 제거된다. 효소세정액은 단백질의 겔층에 특히 효과적이다. RO에도 종종 문제를 일으키는 칼슘, 망간, 실리카 등은 UF의 경우 큰 문제를 일으키지 않는다. 왜냐하면 이러한 이온들은 UF를 통과하기 때문이다.

물리적 세정만으로 여과 능력을 회복하기 힘들기 때문에 화학세정을 실시한다. 화학세정은 크게 2가지로 유지세정(CEB: Chemically Enhanced Backwash)와 회복세척(CIP: Cleaning In Place)가 있다. CEB(Fig. 3.13)는 염기 용액과 산 용액을 역세 공정과 동일한 방향으로 세정을 실시한다. CEB를 실시하였음에도 불구하고 막이 회복이 되지 않을 경우 CIP(Fig. 3.14)를 실시하여 세정을 한다.

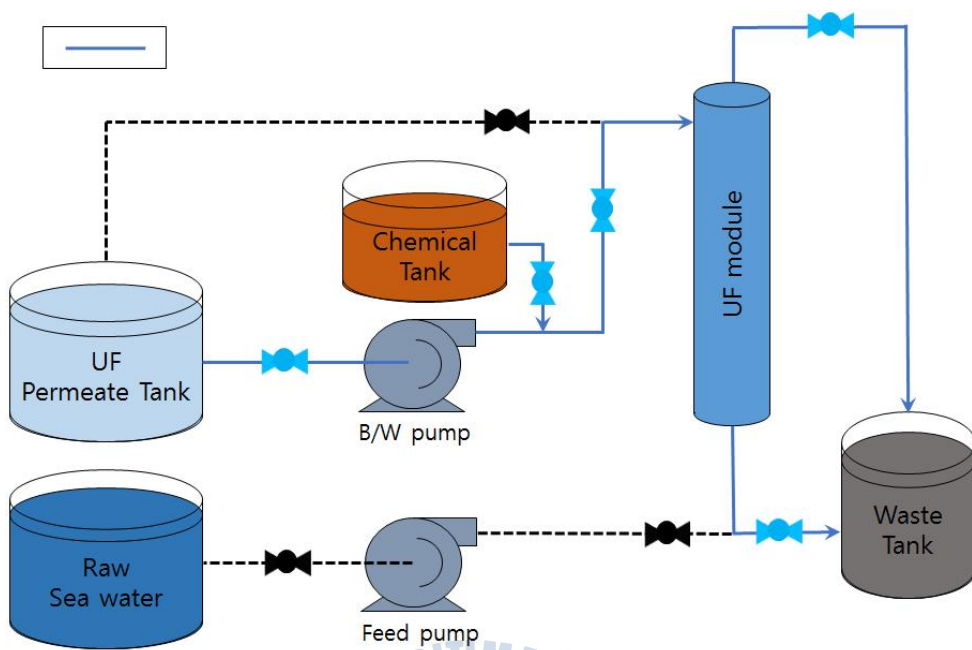


Fig. 3.13 CEB process

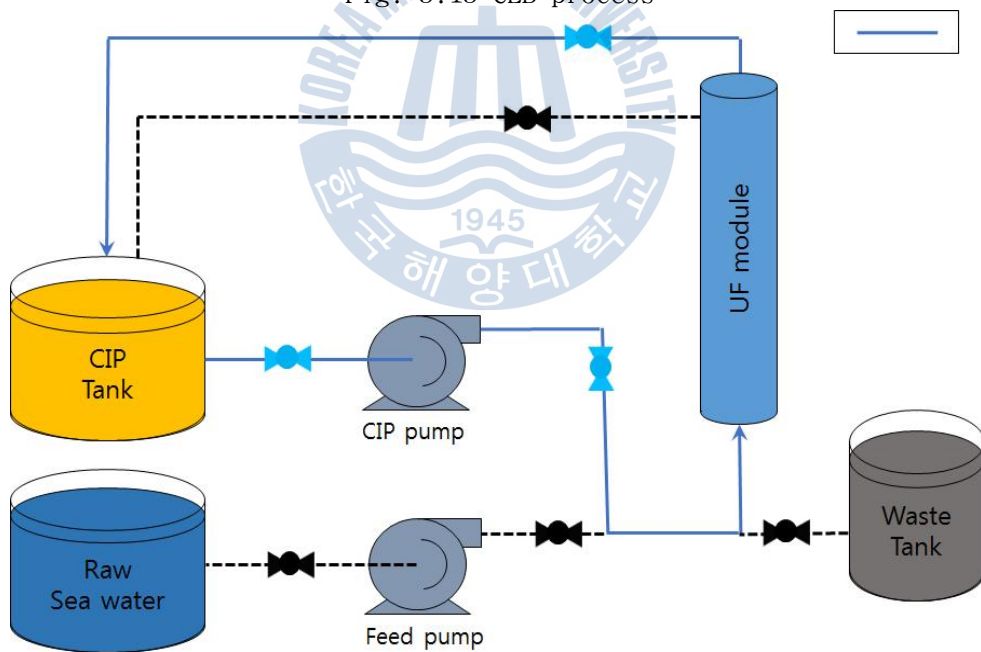


Fig. 3.14 CIP process

### 3.2.2 Parameter 측정방법

#### (1) pH

pH는 액체의 수소이온농도를 나타내는 기호이다. 원수, 디스크 필터 생산수, UF 생산수를 SDI 측정 시간에 같이 샘플링 하여 측정하였다. iSTEK사의 NeoMet pH meter pH-200L을 사용하여 측정하였으며 Fig. 3.15 에 나타내었으며, Table 3.4 에 사양을 나타내었다. pH는 수소이온지수라고도 하며, 수질을 판단하는 중요한 지표가 된다.<sup>[7]</sup>

Table 3.4 pH-200L analyzer specifications

Range	-2.00 to 19.99
Resolution	0.01
Relative accuracy	±0.02
Auto-buffer-recognition	4.00, 7.00, 10.00

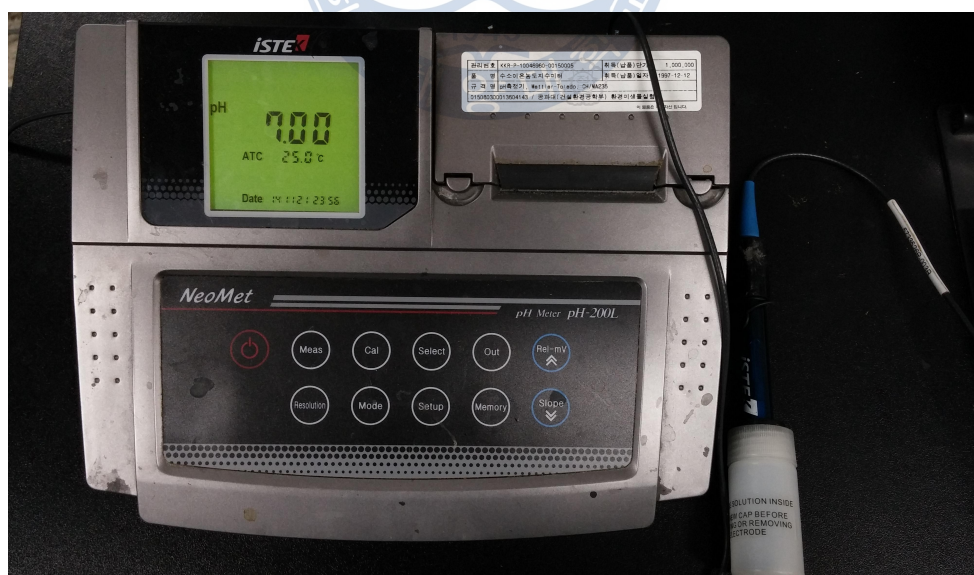


Fig. 3.15 Photo of pH instrument

## (2) 탁도(Turbidity)

탁도는 수중의 부유물질 등에 의하여 물이 혼탁한 정도를 말한다. 물로 통과하는 빛이 이러한 비용해성 부유물질에 의해 산란되거나 흡수되어 흐리게 보여 지는데, 수질 지표로서 탁도는 보통 빛을 입사시켜 부유물질에 의해 산란된 정도를 광학적으로 측정하여 나타낸다. 이 또한 SDI 샘플링 하는 시간에 Fig. 3.7에 나타낸 탁도계에 디스플레이 되는 값을 각각 측정 하였으며, Table 3.5에 사양을 나타내었다.

Table 3.5 Signet 4150 turbidimeter analyzer specifications

Measurement range	0 to 100.0 NTU or 0 to 1000.0 NTU NTU = FNU = FTU
Accuracy <40 NTU	$\pm 2\%$ of reading or $\pm 0.02$ NTU whichever is greater >40 NTU: $\pm 5\%$ of reading
Resolution	0.0001 NTU (below 10 NTU)
Response time	Adjustable

## (3) 전기전도도

전기전도도는 흔히 EC(Electric Conductivity)로 표기된다. 전기가 통하기 쉬운 정도를 나타내는 값으로 전기 저항의 역수이다. 물의 도전율은 수중의 이온 농도와 밀접한 관계가 있으므로 전도도를 측정하면 용해성 물질의 대체적인 그 값을 추정할 수 있다. SDI 샘플 채취하는 시간에 샘플링을 채취하였으며, HACH사의 HQ30d portable meter에 CDC 401 센서를 연결하여 측정하였다. 계측기에 간단한 조작으로 TDS(Total Dissolved Solid) 또한 측정이 가능하여 측정 하였으며, Fig 3.16에 나타내었으며, Table 3.6에 사양을 나타내었다.

Table 3.6 CDC 401 analyzer specifications

Conductivity range	0.01 $\mu$ S/cm to 200.0 mS/cm
TDS range	0 to 50,000 mg/L as NaCl
Operating temperature	-10 to 110°C (14 to 230°F)
Acceptance criteria	Acceptance limits : $\pm 1$ to $\pm 10\%$





Fig. 3.16 Photo of conductivity instrument

#### (4) ORP(Oxidation Reduction Potential)

ORP는 수중에서 주반응이 산화가 진행되고 있는지 환원이 진행되고 있는지를 나타내는 수치이다. 유기물질들이 미생물에 의하여 분해되고(이화작용) 세포로 합성(동화작용)되는 과정에 있다고 할 수 있다. 유기물이 미생물에 의하여 분해되면서 전자수용체로서 산소를 이용한다. ORP 역시 SDI 샘플 채취하는 시간에 샘플링을 채취하였으며, HACH사의 HQ30d portable meter에 MTC 101 센서를 연결하여 측정하였으며, Fig. 3.17 에 나타내었고, Table 3.7 에 사양을 나타내었다.

Table 3.7 MTC 101 analyzer specifications

Range	$\pm 1200$ mV
Reference potential versus standard hydrogen electrode	207 mV at 25°C
Operating temperature	0 to 80°C (32 to 176°F)
Temperature accuracy	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 0.54^{\circ}\text{F}$ )



Fig. 3.17 Photo of ORP instrument

#### (5) 잔류염소

잔류염소는 물속에 용존하는 유리염소 및 클로라민과 같은 결합형의 산화력을 가진 유효염소를 말한다. 이는 살균등의 목적으로 물에 가한 가스상 또는 분말상의 염소 또는 염화화합물이 원인이 되어 수중에 용존하고 있다. 샘플링은 앞서 다른 계측기와 같은 방법으로 채취하였으며, HACH사의 Pocket Colorimeter II를 이용하여 측정하였다. Fig. 3.18 에 나타내었으며, 사양은 Table 3.8 에 나타내었다. 작은 유리셀에 시료를 적당량 넣은 후 시약을 첨가하여 흔들어서 측정한다.

Table 3.8 Pocket Colorimeter II analyzer specifications

Photometric precision	$\pm 0.0015$ Abs
Filter bandwidth	15 nm
Absorbance range	0 to 2.5 Abs
Typical precision (95% confidence interval)	$1.00 \pm 0.05$ mg/L
Operating conditions	0 to 50°C (32 to 122 °F): 0 to 90% relative humidity (noncondensing)



Fig. 3.18 Photo of residual chlorine instrument

#### (6) 용존산소(DO: Dissolved Oxygen)

용존산소는 수중에 용해되어 있는 산소량(농도)을 말한다. 물에 용해하는 산소량은 온도 및 압력에 의하여 영향을 받는다. 물에 대한 산소의 용해도를 좌우하는 것은 자연적 인자 외에도 수중에 존재하는 오염된 유기물등이 있다. 이는 물에 대한 산소의 용해도를 감소시키며, 또한 산소를 소비한다. 그러므로 오염된 물에서는 소비되는 양이 많으므로 용존 산소량이 적게 나온다. 측정기는 YSI사의 YSI-550A 제품을 이용하여 위와 같이 샘플링한 시료를 측정하였으며, Fig. 3.19 에 나타내었고, 사양을 Table 3.9 에 나타내었다.

Table 3.9 YSI-550A analyzer specifications

Range	0 to 50mg/L
Resolution	0.01 mg/L or 0.1 mg/L: selectable
Accuracy	0 to 20 mg/L: $\pm 0.3$ mg/L or 2% of reading, whichever is greater: 20 to 50 mg/L: $\pm 6\%$ of reading





Fig. 3.19 Photo of DO instrument

#### (7) 총유기탄소(TOC: Total Organic Carbon)

총유기탄소는 수중에 유기적으로 결합한 탄소의 합을 말하며, 수중에 존재하는 유기적 또는 무기적으로 결합된 탄소의 합을 나타내는 총탄소(TC: Total Carbon)에서 수중에 탄산염, 중탄산염, 용존 이산화탄소 등 무기적 결합탄소를 말하는 무기탄소(IC: Inorganic Carbon)를 뺀 값이 된다. 측정에 사용된 제품은 SHIMADZU사의 TOC-L CPH 제품과 ASI-L 제품을 이용하여 측정이 되며 Fig. 3.20 에 나타내었고, Table 3.10에 사양을 나타내었다. 680°C 연소 촉매 산화 방식은 백금 촉매가 충전된 TC연소관내에서 충분한 산소 공급하에 680°C 에서 가열함으로써 시료의 완전 연소를 실현하고 있다. 산화하여 발생하는 이산화탄소는 적외선 가스 분석부에서 감지를 한다.

Table 3.10 TOC-L analyzer specifications

Measurement method	680°C combustion catalytic oxidation-non-dispersive infrared detection(NDIR) method
Measurement range	TC: 0 to 30,000 mg/L IC: 0 to 35,000 mg/L
Detection limit	TC, IC: 4 µg/L
Reproducibility	TC, IC, NPOC: CV 1.5% max, or ±4 µg/L max
Measuring time	TC: approx. 3min, IC: approx. 3min
Sample injection volume	10 to 2,000 µL variable

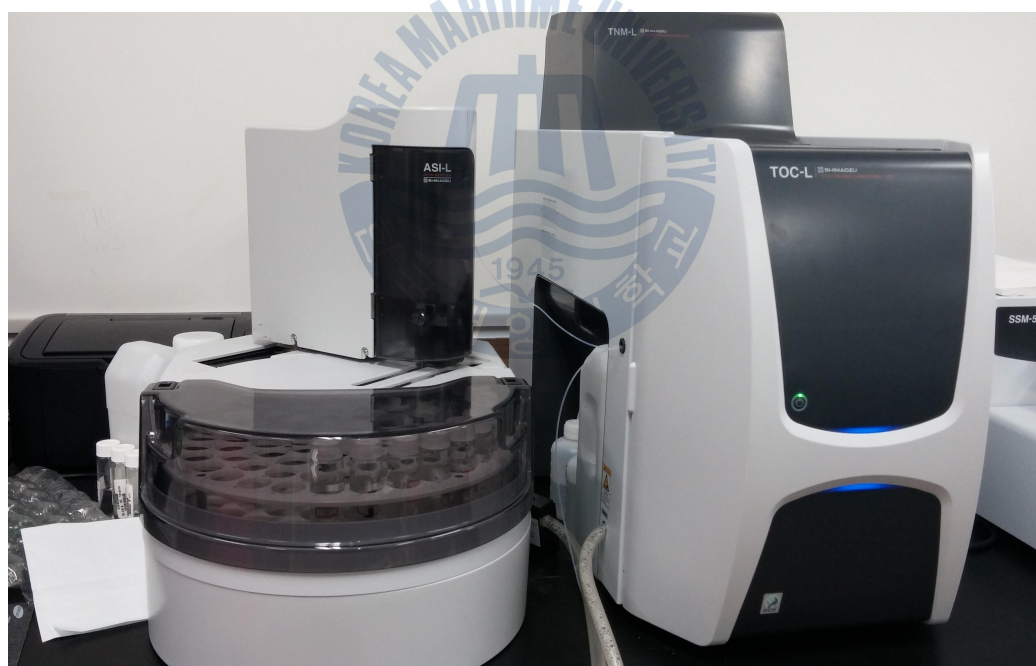


Fig. 3.20 Photo of TOC instrument

## 제 4 장 실험결과 및 고찰

### 4.1 차압과 투수율 및 저항

Fig. 4.1에 나타낸 차압은 UF막의 입구 압력과 출구 압력의 차로 구하였다. 심볼은 10초 간격으로 PLC에 기록된 데이터를 수집하여 표시하였다. 그림에서 보이듯이 두 가지 조건 모두 차압이 꾸준히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 역세 과정을 통해 막표면에 부착된 가역 오염원은 제거하지만, 비가역 오염원은 제거하지 못하여 일어나는 현상이다. 하지만 중간 중간에 눈에 띄게 감소하는 것을 볼 수가 있다. 이는 시스템 공정에서 720분의 시간이 흐른 뒤 CEB를 하게 되는데 CEB후 비가역 오염원을 어느 정도 제거하여 값이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이 실험에서는 각 케이스 별로 총 5번의 CEB 과정이 실시되었으며, 그림에서 중간에 감소하는 부분에서 CEB 실시가 되었다.

Fig 4.2는 투수율을 나타내었다. 이 또한 UF의 투수율로 투수율은 여과 플럭스를 차압으로 나누어 계산 하였으며, 차압의 증가에 따라 감소한다. 일정회전 수조건과 일정유량조건을 비교 했을 때, 일정유량조건에서 감소하는 폭이 줄어든 것이 보인다. 이는 차압의 증가 요인도 있긴 하지만 일정회전수조건 같은 경우에는 유량 값이 계속 줄어드는 반면 일정유량조건은 설정한 유량 값이 일정하게 유지 되므로 일정회전수조건보다 적게 감소한 것으로 보인다. 또한 막 오염에 투수율은 감소되고 CEB를 통해 어느 정도의 회복을 보여 주었으며, 차압에 비해 투수율의 변화 폭이 큰 경향을 보였다.

Fig. 4.3은 저항  $R_T$ 값을 보여준다.  $R_T$ 는 UF막의 오염도를 나타내며, 투과 플럭스와 차압 그리고 해수 점성계수를 이용하여 계산한다. 이때 해수의 염 농도는 입구 쪽에 전도도(Conductivity)센서에서 측정된 값으로, PLC에 저장된 값을 이용하여 계산하였다. 저항 또한 차압의 영향을 받기 때문에 증가 하는 것을 볼 수 있다. 저항 값을 보게 되면 CEB의 효과를 확실히 볼 수 있다. 하지만

CEB를 하여도 차압과 저항 값은 꾸준히 증가하며, 투수율 값은 감소하는 것을 볼 수 있다. 정상 운전시 유량이 20% 정도 감소하게 되었을 때에는 회복세척인 CIP를 실시하여 막을 원래 상태에 가깝게 만들어 줘야 한다.

일정회전수조건으로 연속 실험을 먼저하고 난후 역세 및 화학세정은 실시하지 않고, 동일한 공정 조건에서 일정유량조건으로 변경해주어 연속 실험을 실시하였다. 그 결과 막은 오염된 상태에서 실험을 하였기에 차압과 저항 값은 초기 값이 일정유량조건이 일정회전수조건 보다 증가된 상태에서 증가 하는 것을 볼 수 있었으며, 투수율은 적은 상태에서 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 실험에서는 차압, 투수율, 저항 값을 보았을 때 일정회전수조건보다 일정유량조건의 오염도가 더 적은 것으로 나타났다.

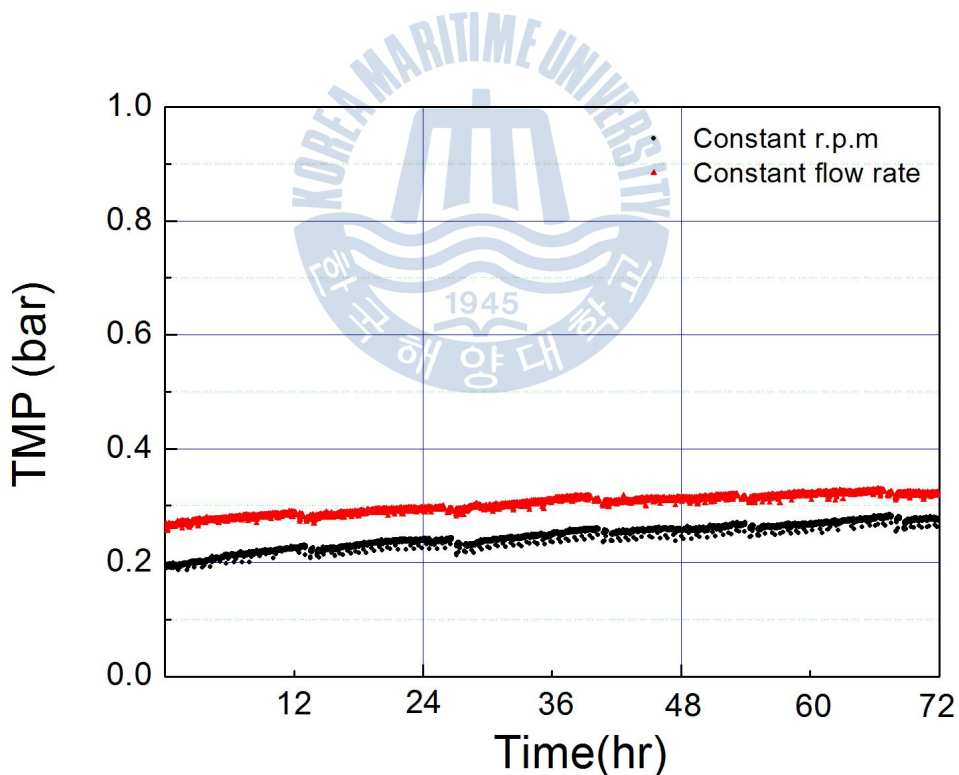


Fig. 4.1 Trends of UF TMP during the experiments

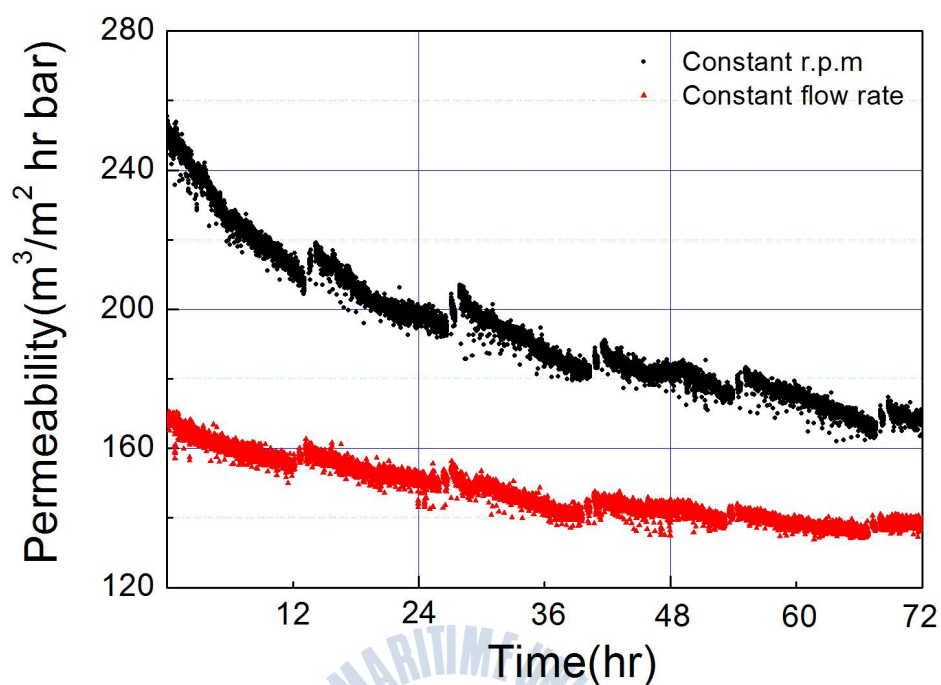


Fig. 4.2 Trends of UF permeability during the experiments

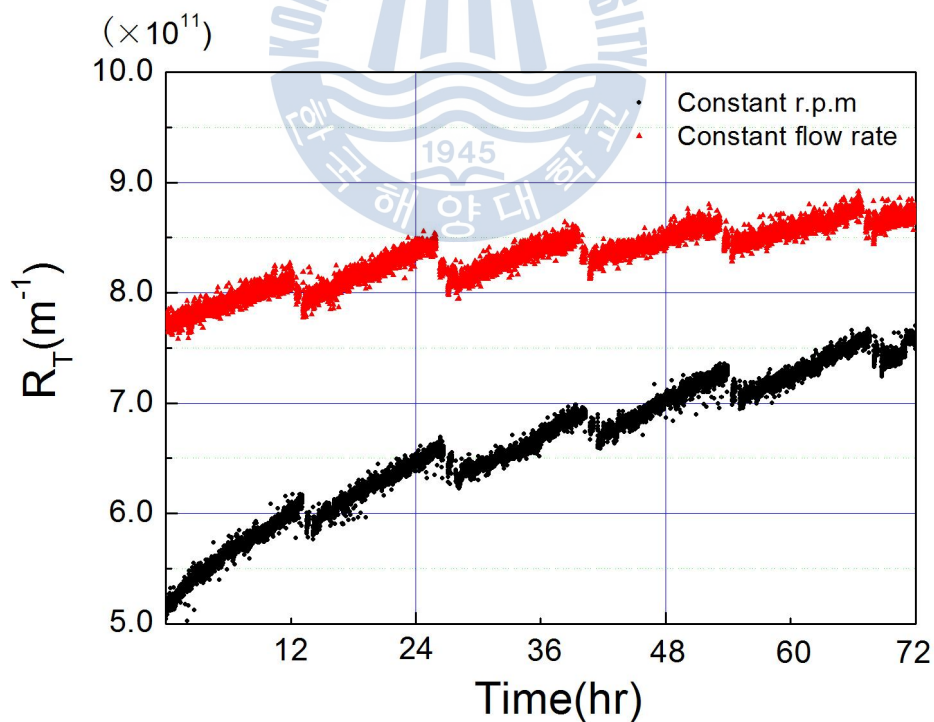


Fig. 4.3 Trends of UF  $R_T$  during the experiments



## 4.2 탁도와 SDI

Fig. 4.4는 실험 기간동안의 탁도와 SDI를 나타낸 그림이다. 탁도는 원수, 디스크필터 생산수, UF 생산수 3곳을 샘플링 하였으며, 일정회전수조건일 때 원수의 탁도는 샘플링 하지 못하였다. 탁도의 데이터는 10초마다 얻게 되는데 여과 공정후에도 측정이 끊기지 않게 하기 위해 수조에 채취하여 측정 하였으나, 일정회전수조건일 때 CEB후 UF 생산수의 탁도가 튀었다. 이는 탁도계에서 흘러나오는 물의 유량 조절을 잘못된 실험 오류로서 일정유량조건일 때는 이 현상이 발생 하지 않게 조절 하였다. 원수와 디스크필터 생산수의 탁도를 보았을 때 디스크 필터 생산수는 원수의 수질에 직접적인 영향을 받는 것을 알 수 있었으며, 이와는 상관없이 UF 생산수의 수질은 꾸준히 유지 되었다.

실험기간 동안 SDI 값은 원수와 디스크 필터 생산수는 측정 되지 않는 날이 많고 편차가 심하였으나 UF 생산수 값은 꾸준히 1.5이하의 값을 유지하였다.

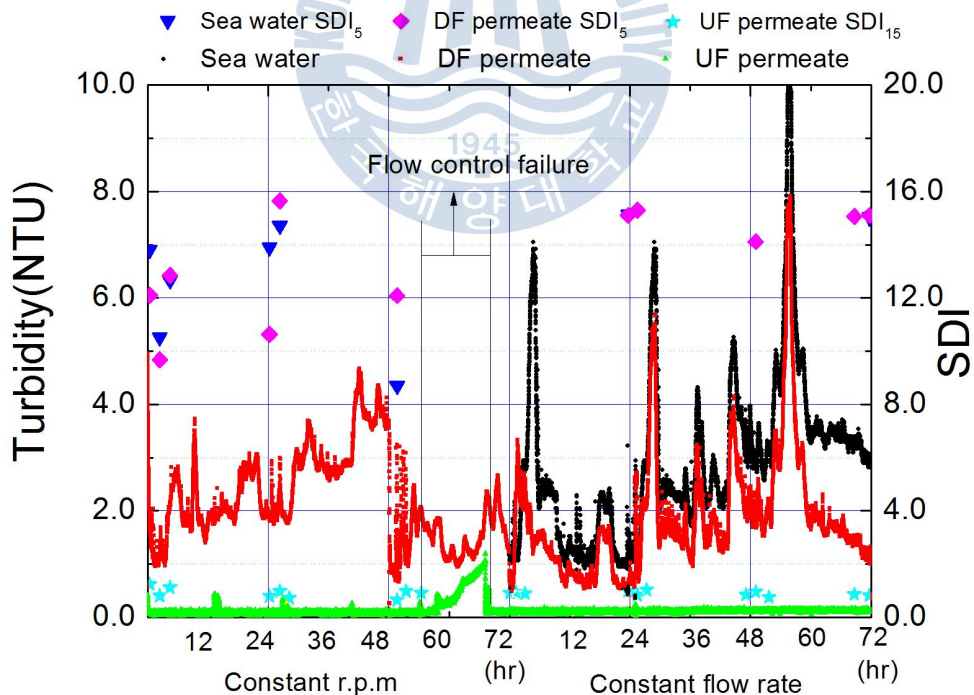


Fig. 4.4 Trends of turbidity and SDI

## 4.3 Parameters

실험기간동안 물리적 파라미터와 화학적 파라미터를 계측기로 측정하여 평균 값과 표준편차 값을 이용하여 Table 4.1와 같이 나타내었다. pH값은 UF 생산수를 거치면서 증가 하는 것을 볼 수 있었으며 편차 값 또한 줄어들었다. 이는 실험기간 동안 해수의 수질이 비슷하였다는 것을 볼 수 있다. 탁도 값은 앞서 그림에서도 보았듯이 디스크필터 생산수는 원수에 직접적인 영향이 있긴 하지만 디스크필터 낮아 진 것을 볼 수 있으며, UF 생산수는 훨씬 낮아 진 것을 볼 수 있다. ORP와 DO값은 디스크 필터와 UF 막을 지나면서 감소하였다. 잔류 염소는 소폭 감소하였으며, 이전 실험할 때 잔류염소가 0.08ppm정도 나온 날도 있었지만, 실험기간에는 원수에 잔류 염소가 거의 나타나지 않았다. TDS와 EC 값은 UF막을 거쳐도 거의 변하지 않았다. TOC 값은 UF 생산수보다 DF 생산수의 값이 높게 나왔다. 이는 TOC 값이 낮기 때문에 오차 허용범위인  $\pm 0.5$  ppm 안에 들어가기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4.1 Physical and chemical parameters

(Mean $\pm$ Standard deviation)

	pH	Turbidity	TDS(ppm)	EC( $\mu$ S/cm)	ORP(mV)	Remark
Present study	7.73 $\pm$ 0.153	2.36 $\pm$ 0.881	31,200 $\pm$ 338	49,600 $\pm$ 555	197 $\pm$ 14.8	Sea water
	7.82 $\pm$ 0.071	1.55 $\pm$ 0.537	31,300 $\pm$ 292	49,800 $\pm$ 438	190 $\pm$ 13.1	DF permeate
	7.85 $\pm$ 0.068	0.099 $\pm$ 0.027	31,300 $\pm$ 292	49,800 $\pm$ 441	189 $\pm$ 14.7	UF permeate
	Free Cl (ppm)	DO(ppm)	TOC (mg C/L)	IC(mg C/L)	Remark	
	0.030 $\pm$ 0.0067	3.38 $\pm$ 0.093	0.824 $\pm$ 0.382	24.8 $\pm$ 0.243	Sea water	
	0.024 $\pm$ 0.0059	3.38 $\pm$ 0.090	0.549 $\pm$ 0.197	24.9 $\pm$ 0.270	DF permeate	
	0.021 $\pm$ 0.007	3.37 $\pm$ 0.092	0.684 $\pm$ 0.206	24.9 $\pm$ 0.301	UF permeate	

## 제 5 장 결론

실험은 일정회전수 조건 실험과 일정유량 조건 실험을 연속 운전하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 실험 기간동안 UF생산수의 탁도는 0.2 NTU 이하였고, SDI<sub>15</sub>는 1.5이하로 유지 하였으므로 역삼투막의 공급수로 적합하다.
- (2) 디스크 필터 생산수 탁도는 원수 수질에 직접적인 영향을 받지만 UF생산수 탁도는 영향을 받지 않았으며, 일정하게 유지되었다.
- (3) 이번 실험에서는 일정회전수조건의 실험에서 더 많은 오염을 일으켰으며, CEB 효과 또한 일정유량조건이 우수하였다.
- (4) CEB를 함으로써 비가역 오염원을 제거 할 수 있었으며 막의 오염 회복이 가능 하였다.
- (5) 물리적 파라미터인 탁도와 SDI값을 통하여 수질의 상태를 알 수 있었으며, 원수에서 디스크 필터를 지나 UF 멤브레인을 통과 하면서 수질이 좋아지는 것을 볼 수 있었다.
- (6) 화학적 파라미터인 계측기 측정을 통해 각 수질의 변화를 볼 수 있었으며, 비교할 수 있는 계기가 되었다.



## 참 고 문 헌

- [1] Roberto Borsani, Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies, Desalination, 182 (2005), 29-37
- [2] 이병준, 해수담수화 기술 동향과 신기술 소개, 포스코엔지니어링 기술보 제28권 제1호 통권 제33호 (2012), 38-47
- [3] 수자원공사, 해수담수화 사업, 2010. 7
- [4] Dawn F. Halpern, John McArdle, Benjamin Antrim, UF pretreatment for SWRO: pilot studies, Desalination, 182 (2005), 29-37
- [5] A. Brehant, V. Bonnelye and M. perez, Comparison of MF/UF pretreatment with conventional filtration prior to RO membranes for surface seawater desalination, Desalination, 144 (2002) 353-360.
- [6] Dwaipayan Sen, Wren Roy, Lipika Das, Sangeeta Sadhu, Chiranjib Bhattacharjee, Ultrafiltration of macromolecules using rotating disc membrane module (RDMM) equipped with vanes: Effects of turbulence promoter. Journal of Membrane Science 360 (2010), 40-7
- [7] 한국수자원공사, 해수의 담수화 시스템 및 적용방안 연구(2차년도), (1997)